

**Aus den Zahnmedizinischen Kliniken der Universität Bern
Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin**

Direktor: Prof. Dr. Adrian Lussi

Arbeit unter der Leitung von Dr. Simon Flury

**Dentinhaftkraft zweier neuer CAD/CAM-Materialien in Abhängigkeit
verschiedener adhäsiver Zementsysteme**

**Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Bern**

vorgelegt von
Schmidt Stefanie Zita
von Naters VS

**Von der Medizinischen Fakultät der Universität Bern auf Antrag der
Dissertationskommission als Dissertation genehmigt.**

Promotionsdatum:

Der Dekan der Medizinischen Fakultät:

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG	4
2. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	6
3. MATERIALIEN UND METHODEN	9
3.1. Vorbereitung der Dentinprobekörper	9
3.2. Vorbereitung der Hybridkeramikzylinder	9
3.3. Herstellung der Scherkraft-Prüfkörper.....	10
3.4. Scherkrafttest zur Bestimmung der Dentinhaftkraft.....	13
3.5. Statistische Analyse	14
4. RESULTATE	15
5. DISKUSSION	19
6. SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	24
7. VERDANKUNG	25
8. INFORMATION UND INTERESSENDEKLARATION	26
9. LITERATURVERZEICHNIS	27

1. ZUSAMMENFASSUNG

Zielsetzung: Ziel der Studie war die Bestimmung der Dentinhaftkraft von zwei sogenannten Hybridmaterialien für computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) Restaurationen unter Anwendung von fünf verschiedenen Zementen vor und nach sechsmonatiger Lagerung.

Materialien und Methoden: Aus extrahierten menschlichen Molaren wurden 300 Dentinprobekörper hergestellt (n=15 pro Gruppe; 10 Gruppen (2 Hybridkeramiken, 5 Zemente) je nach 24 h/nach sechsmonatiger Lagerung). Aus Hybridkeramikblöcken von Lava Ultimate (3M ESPE) und VITA ENAMIC (VITA Zahnfabrik) wurden Zylinder hergestellt, welche standardisiert aufgeraut wurden. Anschliessend wurden die Hybridkeramikzylinder mit einem der folgenden fünf Zemente auf die Dentinprobekörper zementiert: mit den Kompositzementen RelyX Ultimate (3M ESPE), PANAVIA F2.0 (Kuraray), Variolink II (Ivoclar Vivadent), els cem (Saremco Dental AG) oder als Negativkontrollgruppe mit dem kunststoffmodifizierten Glasionomierzement Ketac Cem Plus (3M ESPE). Die Dentinhaftkraft der Hybridkeramikzylinder wurde einerseits nach 24 h und andererseits nach sechsmonatiger Lagerung via Scherkrafttest bestimmt. Nach dem Scherkrafttest wurde das Bruchmuster unter einem Lichtmikroskop bei 40-facher Vergrösserung beurteilt. Die Dentinhaftkraftwerte wurden mittels nichtparametrischer ANOVA gefolgt von exakten Wilcoxon Rangsummen-Tests statistisch analysiert ($\alpha=0,05$). Die Beurteilung des Bruchmusters wurde deskriptiv ausgewertet.

Resultate: Für die Hybridkeramik Lava Ultimate und nach 24 h erzielten die Kompositzemente RelyX Ultimate und Variolink II die höchsten Dentinhaftkraftwerte. Die Dentinhaftkraftwerte von RelyX Ultimate und Variolink II unterschieden sich nicht signifikant. Die Dentinhaftkraftwerte von PANAVIA F2.0 unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant von denjenigen von RelyX Ultimate, waren jedoch signifikant tiefer als diejenigen von Variolink II. Unter allen Kompositzementen erzielte els cem die tiefsten Dentinhaftkraftwerte. Nach sechsmonatiger Lagerung waren die Dentinhaftkraftwerte für RelyX Ultimate die höchsten, gefolgt von Variolink II, von els cem und anschliessend von PANAVIA F2.0, welcher nach sechsmonatiger Lagerung die tiefsten Dentinhaftkraftwerte der Kompositzemente zeigte. Der kunststoffmodifizierte Glasionomierzement Ketac Cem Plus zeigte sowohl nach 24 h als auch nach sechsmonatiger Lagerung die tiefsten Dentinhaftkraftwerte. Für VITA ENAMIC war die Reihenfolge der Zemente nach Dentinhaftkraft nach 24 h ähnlich wie diejenige nach sechsmonatiger Lagerung: Die Dentinhaftkraft war für RelyX Ultimate und Variolink II am höchsten, gefolgt von PANAVIA F2.0, von els cem und schlussendlich von Ketac Cem Plus mit den tiefsten Dentinhaftkraftwerten.

Nach 24 h und für alle fünf Zemente unterschieden sich die Dentinhaftkraftwerte zwischen Lava Ultimate und VITA ENAMIC nicht signifikant. Nach sechsmonatiger Lagerung unterschieden sich die Dentinhaftkraftwerte zwischen Lava Ultimate und VITA ENAMIC ebenfalls nicht signifikant für RelyX Ultimate und els cem im Gegensatz zu den Dentinhaftkraftwerten von PANA VIA F2.0, Variolink II und Ketac Cem Plus, welche signifikant tiefer waren für Lava Ultimate als für VITA ENAMIC. Das häufigste Bruchmuster war für Lava Ultimate nach 24 h und für VITA ENAMIC sowohl nach 24 h als auch nach sechsmonatiger Lagerung adhäsiv zwischen Dentin und Zement. Nach sechsmonatiger Lagerung war für Lava Ultimate das häufigste Bruchmuster tendenziell gemischte Brüche.

Schlussfolgerung: Basierend auf den Resultaten kann gesagt werden, dass für beide Hybridkeramiken sowohl RelyX Ultimate als auch Variolink II empfohlen werden können. PANA VIA F2.0 kann für VITA ENAMIC empfohlen werden, für Lava Ultimate allerdings weniger, da die Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung abnahm. Von einer konventionellen (allerdings nicht indizierten und in dieser Studie experimentellen) Zementierung der beiden Hybridkeramiken mit dem kunststoffmodifizierten Glasionomierzement Ketac Cem Plus muss abgeraten werden.

2. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) Technologien wie beispielsweise das CEREC-System (Sirona) ermöglichen das direkte („chairside“) Herausschleifen von Restaurationen (Veneers, Inlays, Onlays oder Teil- bzw. Einzelkronen) aus vorgefertigten CAD/CAM-Blöcken. Sehr oft bestehen diese CAD/CAM-Blöcke aus Silikatkeramiken (d. h. aus Feldspatkeramik, leuzitverstärkter Glaskeramik oder Lithium-Disilikat-Glaskeramik). Abgesehen von Silikatkeramikblöcken finden auch Kunststoffblöcke ihre Anwendung, allerdings vorwiegend für provisorische Restaurationen. Grundsätzlich müssen Restaurationen aus den erwähnten Silikatkeramiken adhäsiv (sprich mit Kompositzementen) zementiert werden. Die Biegefestigkeit von Feldspatkeramik oder leuzitverstärkter Glaskeramik ist zu gering, als dass Restaurationen aus diesen Silikatkeramiken für konventionelles Zementieren (etwa mit einem Glasionomerezement) geeignet wären [1]. Die einzige Ausnahme sind Einzelkronen aus Lithium-Disilikat-Glaskeramik, da diese aufgrund ausreichender Biegefestigkeit der Lithium-Disilikat-Glaskeramik sowohl adhäsiv als auch konventionell zementiert werden können [2].

Neuerdings gibt es zwei CAD/CAM-Hybridmaterialien auf dem Markt, welche jeweils aus einem Keramik- und einem Kunststoffanteil bestehen. Das erste neue CAD/CAM-Hybridmaterial, Lava Ultimate (3M ESPE), ist gemäss Hersteller eine sogenannte „Resin Nano Keramik“ und besteht aus Nanokeramikkomponenten. Letztere sind Zirkoniumoxid- und Siliziumoxid-Nanopartikel, die silanisiert und anschliessend in einer hochvernetzten Polymermatrix eingebettet werden [3]. Gemäss Herstellerangaben sollen die Vorteile von Lava Ultimate unter anderem eine hohe Biegefestigkeit, Kaukraftabsorption sowie Abrasionsbeständigkeit bei gleichzeitiger Schonung des Antagonisten sein [3]. Das zweite neue CAD/CAM-Hybridmaterial, VITA ENAMIC (VITA Zahnfabrik), ist gemäss Hersteller eine sogenannte „Hybridkeramik“ und besteht aus einer dualen Netzwerkstruktur, welche einerseits ein Feinstruktur-Feldspatkeramik-Netzwerk und andererseits ein Acrylatpolymer-Netzwerk beinhaltet [4]. Gemäss Herstellerangaben soll die Biegefestigkeit von VITA ENAMIC in einem ähnlichen Bereich wie diejenige der Feldspatkeramik oder leuzitverstärkten Glaskeramik liegen, allerdings bei einer geringeren Sprödigkeit. Zudem verspricht der Hersteller als Vorteile unter anderem ein besseres Abrasionsverhalten als Komposit und die Möglichkeit von Restaurationen mit geringeren Wandstärken im Vergleich zu Silikatkeramiken [4]. Beide Hersteller nennen ähnliche Indikationen für ihre neuen CAD/CAM-Hybridkeramiken wie etwa Veneers, Inlays und Onlays. Für VITA ENAMIC sind zusätzlich Kronenrestaurationen auf Zähnen und Implantaten indiziert. Beide CAD/CAM-Hybridkeramiken sollen laut Hersteller adhäsiv zementiert werden und

grundsätzlich ist die dichte Verbindung von Kavitätenwand und Restauration wichtig für den Erfolg oder Misserfolg der Restauration. Entstehen Randspalten oder Mikrorisse zwischen Zahnschmelz und Restauration kann dies einerseits zu Verfärbungen oder Hypersensibilitäten führen. Andererseits erlauben Randspalten oder Mikrorisse ein Eindringen von Bakterien, welche zu Sekundärkaries führen können. Randspalten und Mikrorisse entstehen häufiger am Übergang Dentin zu Restauration als am Übergang Schmelz zu Restauration [5]. Ein guter Halt von Restaurationen konnte lange nur durch eine friktive Präparationsform und die mechanische Verzahnung in Kombination mit einem konventionellen Zement (etwa Zinkphosphat- oder Glasionomerkement) erreicht werden [6,7]. Erst die Komposit-Technologie und die damit zusammenhängende Entwicklung von Adhäsivsystemen hat Kompositzemente und somit die adhäsive Zementierung ermöglicht. Heutzutage unterscheidet man bei Kompositzementen drei Kategorien: (1) die „etch-and-rinse“ Kompositzemente (benötigen Vorbehandlung der Zahnschmelz mit Phosphorsäure, gefolgt von einem Adhäsivsystem), (2) die „self-etch“ Kompositzemente (benötigen Vorbehandlung der Zahnschmelz mit einem selbst-ätzenden Adhäsivsystem) und (3) die „self-adhesive“ Kompositzemente (benötigen keine Vorbehandlung der Zahnschmelz) [8,9]. Um einen klinischen Erfolg zu garantieren, empfehlen beide Hersteller für ihre CAD/CAM-Hybridkeramiken unterschiedliche Kompositzemente. Für Lava Ultimate wird RelyX Ultimate (3M ESPE) empfohlen. Dieser Kompositzement benötigt eine Vorbehandlung der Zahnschmelz mit dem Adhäsivsystem Scotchbond Universal. Scotchbond Universal ist ein selbstätzendes Adhäsivsystem und somit reiht sich RelyX Ultimate primär in die Kategorie der „self-etch“ Kompositzemente ein. Für VITA ENAMIC wird PANAVIA F2.0 (Kuraray) mit dem selbstätzenden Adhäsivsystem ED Primer II empfohlen. Bei PANAVIA F2.0 handelt es sich folglich ebenfalls um einen „self-etch“ Kompositzement. Wie PANAVIA F2.0, welcher als gut dokumentierter Kompositzement gilt, ist auch Variolink II (Ivoclar Vivadent) mittlerweile ein Goldstandard. Variolink II ist ein „etch-and-rinse“ Kompositzement, welcher in Kombination mit dem Adhäsivsystem Syntac Classic verwendet wird. Ein kürzlich eingeführter, zweiter „etch-and-rinse“ Kompositzement ist elscem (Saremco Dental AG) in Kombination mit dem Adhäsivsystem cmf prime.

Ziel der vorliegenden Studie war die Ermittlung der Haftkraft beider CAD/CAM-Hybridkeramiken zu Dentin unter Anwendung von vier Kompositzementen und einem konventionellen Zement. Letzterer, ein kunststoffmodifizierter Glasionomerkement (Ketac Cem Plus, 3M ESPE), wurde als Negativkontrollgruppe für die (nicht indizierte) konventionelle Zementierung in die Studie eingeschlossen. Die Dentinhaftkraft wurde sowohl nach 24 Stunden als auch nach sechsmonatiger Lagerung ermittelt, um die

Beständigkeit der Dentinhaftkraft abschätzen zu können. Die Nullhypothese der vorliegenden Studie war, dass sich die Dentinhaftkraft für alle fünf Zemente und beide CAD/CAM-Hybridkeramiken sowie einer Lagerung nach 24 Stunden oder sechs Monaten nicht unterscheiden würden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

3.1. Vorbereitung der Dentinprobekörper

Insgesamt wurden 300 Dentinprobekörper hergestellt (n=15 pro Gruppe; 10 Gruppen (2 Hybridkeramiken, 5 Zemente) nach 24 h/nach sechsmonatiger Lagerung). Für die Herstellung der Dentinprobekörper wurden 300 extrahierte, menschliche Molaren ausgesucht, welche anschliessend mit Scaler/Küretten unter Leitungswasser gereinigt und parallel zur Okklusionsebene bis in die Mitte des koronalen Dentins (keine zentralen Schmelzanteile, keine Pulpaeröffnung) heruntergeschliffen wurden (Schleif-/Politurmaschine Struers Labo-Pol 21; Struers, Ballerup, Dänemark mit Struers Silicon Carbide (SiC) Schleifpapier, Korngrösse #220 unter Wasserkühlung). Die Probekörper wurden danach in selbsthärtendem Acrylharz (Paladur, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland) eingebettet und durchnummeriert. Danach wurden sie bis zur Herstellung der Scherkraft-Prüfkörper (Siehe Abschnitt 3.3.) bei 100% Luftfeuchtigkeit im Kühlschrank gelagert.

3.2. Vorbereitung der Hybridkeramikzylinder

Aus den zwei verschiedenen Hybridkeramiken (Tab. 1) wurden Zylinder ($\varnothing \times h$) 3,6 mm x 2 mm) aus CAD/CAM-Blöcken der Grösse 14L (Lava Ultimate) bzw. EM-14 (VITA ENAMIC) herausgefräst (Institute for Surgical Technology & Biomechanics, Universität Bern). Die Zylinder wurden dann von Hand auf einem Struers SiC Schleifpapier, Korngrösse #80 (Struers) durch zweimaliges Drehen um 360° des Schleifpapiers standardisiert aufgeraut, um eine Oberfläche wie nach dem Schleifvorgang z. B. mit einer CEREC Diamantfräse zu simulieren.

Tab. 1: Hybridkeramiken

Hybridkeramik	Zusammensetzung (Herstellerangaben)
Lava Ultimate 3M ESPE, St. Paul, MN, USA (Lot-Nr N366024)	<ul style="list-style-type: none"> - 80 Gew.-% (65 Vol.-%) Nanokeramikkomponenten (2/3 Siliziumoxid-Nanopartikel (20 nm), 1/3 Zirkoniumoxid-Nanopartikel (4-11 nm)) - 20 Gew.-% (35 Vol.-%) hochvernetzte Polymermatrix (Kunststoff auf Methacrylatbasis und Nanopartikel; thermisch gehärtet zu Umsetzungsgrad von 90%) - Verbund via Silanhaftvermittler
VITA ENAMIC VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland (Lot-Nr 100003)	<ul style="list-style-type: none"> - 86 Gew.-% Feldspatkeramik-Feinstruktur-Netzwerk (durchschnittliche Partikelgrösse ca. 4 µm; nur poröse Sinterung, damit Monomer gut infiltrieren kann) - 14 Gew.-% Acrylatpolymer-Netzwerk (infiltriert ins Feldspatkeramik-Feinstruktur-Netzwerk; Polymerisation unter Hitze und Druck; restmonomerfrei)

3.3. Herstellung der Scherkraft-Prüfkörper

Als erster Schritt bei der Herstellung der Scherkraft-Prüfkörper wurden die Zylinder aus den zwei Hybridkeramiken gemäss Herstellerangaben (Tab. 2) vorbehandelt.

Tab. 2: Vorbehandlung

Hybridkeramik	Vorbehandlungsschritte	Zeit
Lava Ultimate 3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Sandstrahlen mit Aluminiumoxid 27 µm, Abstand: 1-2 cm (CoJet; 3M ESPE, Seefeld, Deutschland)	5 s
	Reinigung mit Wattepellet und Ethanol 100% (Ethanolum anhydricum non potabile; Hänseler AG, Herisau, Schweiz)	5 s
	Lufttrocknung	3 s
VITA ENAMIC VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland	Flusssäureätzung 5% (VITA Ceramics Etch; VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland, Lot-Nr 33270)	60 s
	Reinigung mit Wasserspray	60 s
	Lufttrocknung	20 s

Danach wurden die vorbereiteten Dentinprobekörper mindestens eine Stunde vor Gebrauch aus dem Kühlschrank genommen und in Leitungswasser (Raumtemperatur) aufbewahrt und hernach 10 s lang mittels SiC Schleifpapier #500 (Struers) aufgeraut, um eine standardisierte Schmierschicht („smear layer“) auf dem Dentin zu erhalten. Nach der Aufrauhung von 10 Dentinprobekörpern wurde das Schleifpapier ausgewechselt. Die Dentinprobekörper wurden nach der Aufrauhung bis zur Zementierung konstant in Leitungswasser gelagert. Zur anschliessenden Zementierung wurde jeweils ein Dentinprobekörper aus dem Leitungswasser genommen, mit der Dreiwegspritze und Wasserspray abgesprayed und danach luftgetrocknet. Zur Eingrenzung der späteren Haftfläche wurde eine gelochte (Innendurchmesser: ~4 mm) Selbstklebefolie auf die spätere Zementierungsstelle des Probekörpers angebracht.

Die Zementierung der Hybridkeramikzylinder auf die Dentinprobekörper erfolgte entweder mit einem von zwei „self-etch“ Kompositzementen (RelyX Ultimate (3M ESPE, Neuss, Deutschland) bzw. PANAVIA F2.0 (Kuraray, Okayama, Japan)), einem von zwei „etch-and-rinse“ Kompositzementen (Variolink II (Ivoclar Vivadent, Schaan, Fürstentum Liechtenstein) bzw. els cem (Saremco Dental AG, Rebstein, Schweiz)), oder einem kunststoffmodifizierten Glasionomermazement (Ketac Cem Plus (3M ESPE, St. Paul, MN, USA)) (Abb. 1) gemäss Herstellerangaben (Tab. 3).

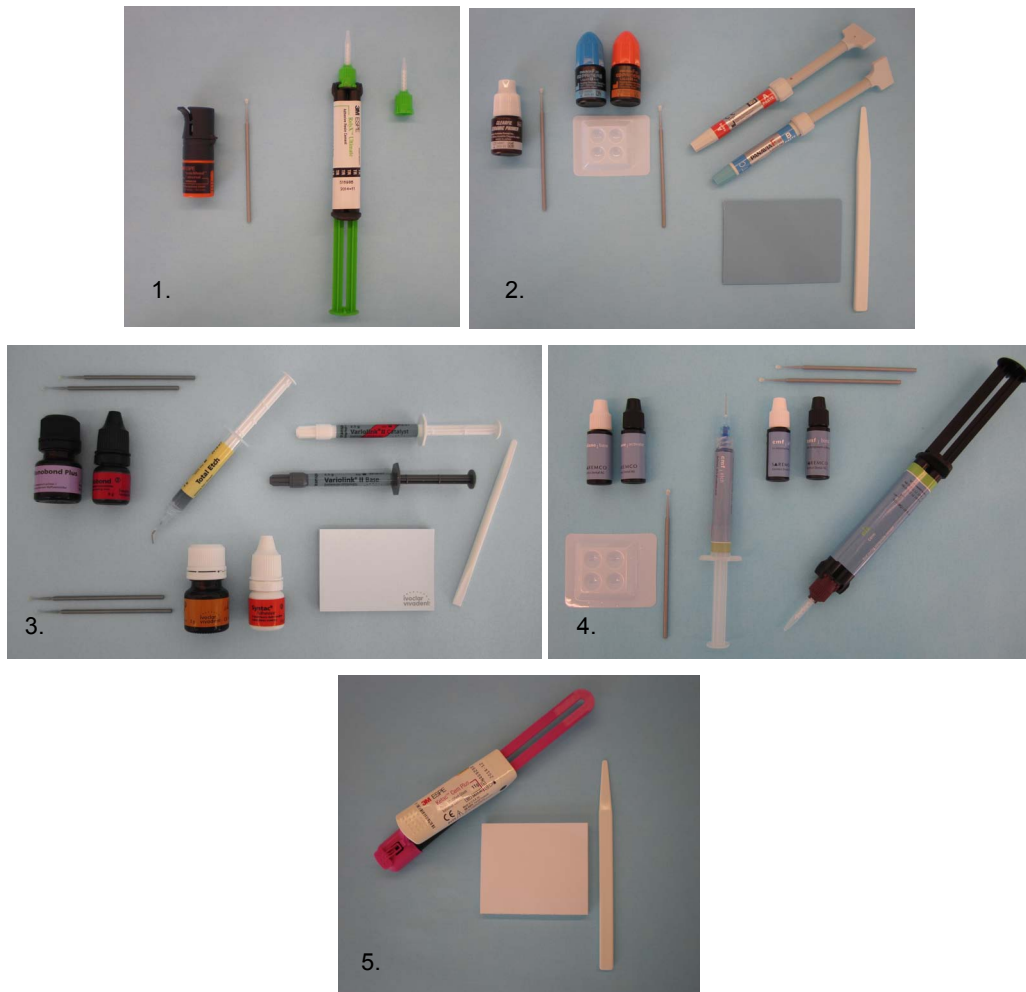


Abb. 1: Zemente gemäss Tabelle 3 - 1. RelyX Ultimate, 2. PANA VIA F2.0, 3. Variolink II, 4. els cem, 5. Ketac Cem Plus

Tab. 3: Zementierung

Zementierungsschritte										
Hybridkeramik	RelyX Ultimate	Zeit	PANAVIA F2.0	Zeit	Variolink II	Zeit	els cem	Zeit	Ketac Cem Plus	Zeit
Lava Ultimate	Scotchbond Universal	20 s	CLEARFIL Ceramic Primer	-	Applikation Monobond Plus	60 s	csp silan: base & activator mischen (2:1), warten	5 min	-	-
	Lufttrocknung	5 s	Lufttrocknung	-	Lufttrocknung	-	Applikation csp, einreiben	-		
					Applikation Heliobond	-	Leichte Lufttrocknung	-		
					Verblasen, keine Lichthärtung, unter Lichtschutzbox	-	cmf bond einreiben	20 s		
VITA ENAMIC	Scotchbond Universal	20 s	CLEARFIL Ceramic Primer	-	Applikation Monobond Plus	60 s	csp silan: base & activator mischen (2:1), warten	5 min	-	-
	Lufttrocknung	5 s	Lufttrocknung	-	Lufttrocknung	-	Applikation csp, einreiben	-		
					Applikation Heliobond	-	Leichte Lufttrocknung	-		
					Verblasen, keine Lichthärtung, unter Lichtschutzbox unter Lichtschutzbox	-	cmf bond einreiben	20 s		
Dentinprotektkörper	Scotchbond Universal	20 s	ED PRIMER II A & B mischen (1:1)	-	Dentinätzung mit Total Etch	15 s	Dentinätzung mit cmf etch	30 s	Paste 1 & 2 mischen	20 s
	Lufttrocknung	5 s	Applikation ED PRIMER II, warten	30 s	Wasserspülung und Lufttrocknung	15 s	Wasserspülung und Lufttrocknung	15 s	Applikation Zement	-
	Applikation Zement	-	Lufttrocknung	-	Applikation Syntac Primer Einreiben, verblasen	15 s	Applikation cmf prime, einmassieren	20 s	Selbsthärtung	5 min
	Lichthärtung	40 s	PANAVIA F2.0 A & B mischen (1:1)	20 s	Applikation Syntac Adhäsiv, einwirken lassen, trocknen	10 s	Lufttrocknung	-		
			Applikation Zement	-	Applikation Heliobond, verblasen	-	Lichthärtung	20 s		
			Lichthärtung	40 s	Variolink II mischen (1:1)	-	Applikation cmf bond, einmassieren	20 s		
					Applikation Zement	-	Lichthärtung	20 s		
					Applikation Zement	-	Applikation Zement	-		
				40 s	Lichthärtung	40 s	Lichthärtung	40 s		

Nach Applikation des Zementes und Platzieren des Zylinders wurden die Scherkraft-Prüfkörper in eine Haltevorrichtung (Abb. 2) bei einer Anpresskraft von ~1 N eingespannt.

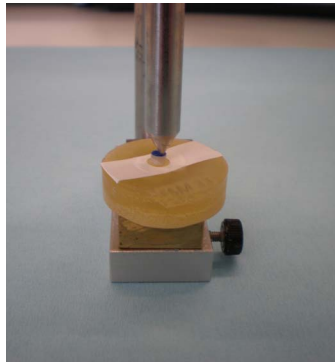


Abb. 2: Haltevorrichtung mit Scherkraft-Prüfkörper

Die Zementüberschüsse wurden unmittelbar danach mit einem Microbrush entfernt. Bei den Zementen mit Lichthärtung (Tab. 3) wurde eine LED-Polymerisationslampe mit einer Lichtleistung $>1'000 \text{ mW/cm}^2$ verwendet (Demi LED; Kerr Corporation, Middleton, WI, USA; regelmässige Überprüfung der Lichtleistung mit Radiometer (Demetron L.E.D. Radiometer, Kerr Corporation)). Nach erfolgter Licht- beziehungsweise Selbsthärtung wurden die Prüfkörper aus der Haltevorrichtung entfernt und im Dunkeln bei 37° und 100% Luftfeuchtigkeit entweder für 24 h oder 6 Monate im Wärmeschränk gelagert.

3.4. Scherkrafttest zur Bestimmung der Dentinhaftkraft

Nach einer Lagerung von 24 h bzw. 6 Monaten (bei 37°C , 100% Luftfeuchtigkeit), wurden die Hybridkeramikzylinder mittels Scherkrafttest belastet. Dazu wurden die Scherkraft-Prüfkörper in eine Universalprüfmaschine (Zwick Z010, Zwick GmbH & Co KG, Ulm, Deutschland) eingespannt (Abb. 3) und auf Zug geprüft (Einwirkung der Kraft rechtwinklig zum Hybridkeramikzylinder; Prüfungsgeschwindigkeit $0,1 \text{ mm/min}$). Damit wurde die zum Bruch notwendige Kraft (F_{max} ; Abb. 4) ermittelt und die Dentinhaftkraft errechnet (in Megapascal (MPa); $F_{\text{max}} / 10 \text{ mm}^2$ Haftfläche (\varnothing Hybridkeramikzylinder = $3,6 \text{ mm}$, Radius (r) = $1,8 \text{ mm}$; Haftfläche = $r^2 \times \pi = 10 \text{ mm}^2$)).

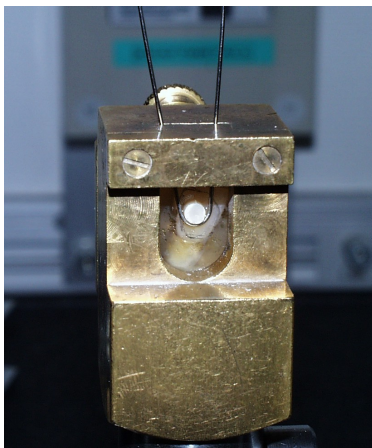
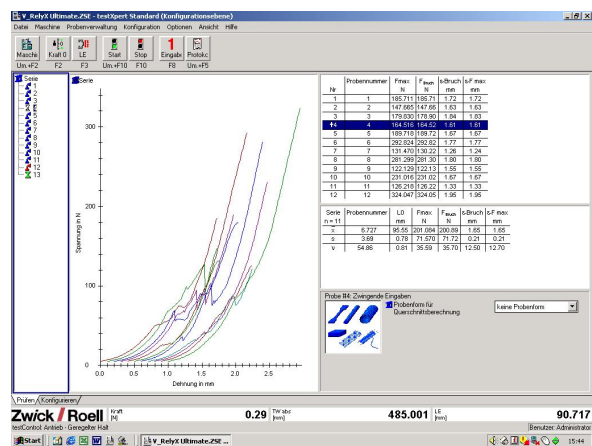


Abb. 3: Prüfvorrichtung Scherkrafttest

Abb. 4: Bestimmung von F_{\max} zum Bruch

Nach dem Scherkrafttest wurde das Bruchmuster aller Scherkraft-Prüfkörper unter einem Lichtmikroskop (Leica ZOOM 2000, Leica, Buffalo, NY, USA) bei 40-facher Vergrößerung beurteilt und klassifiziert als: 1) kohäsiver Bruch im Dentin, 2) adhäsiver Bruch zwischen Dentin und Kompositzement, 3) adhäsiver Bruch zwischen Kompositzement und Hybridkeramik, 4) kohäsiver Bruch im Kompositzement oder 5) gemischter Bruch (Kombination der Bruchmuster 1) bis 4)).

3.5. Statistische Analyse

Die Beurteilung der Bruchmuster wurde deskriptiv ausgewertet währenddessen die Dentinhaftkraftwerte statistisch analysiert wurden. Um die Einflüsse und Wechselwirkungen der Faktoren „Zement“, „CAD/CAM-Hybridkeramik“ und „Lagerung“ (d. h. nach 24 h bzw. nach 6 Monaten) auf die Dentinhaftkraft zu testen, wurde eine globale Analyse in Form einer nichtparametrischen ANOVA nach Higgins [10] durchgeführt und die p-Werte wurden mittels Bonferroni-Holm Korrektur für multiples Testen korrigiert. Als post-hoc Tests wurden wiederholt exakte Wilcoxon Rangsummen-Tests durchgeführt und die p-Werte wurden nicht korrigiert, womit signifikante Unterschiede in einem explorativen Kontext betrachtet werden müssen.

Die ganze statistische Analyse wurde mit der Software R Version 2.15.1 (The R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich; www.R-project.org), mit Hilfe des Zusatzpakets „exactRankTests“ durchgeführt.

Die Stichprobengröße wurde anhand von Vorversuchen mit NCSS/PASS 2005 (NCSS, Kaysville, UT, USA) statistisch analysiert, nachdem das Signifikanzniveau auf $\alpha=0,05$ festgelegt wurde.

4. RESULTATE

Die Dentinhaftkraftwerte für die beiden Hybridkeramiken nach 24 h und nach sechsmonatiger Lagerung sind in Abbildung 5 dargestellt.

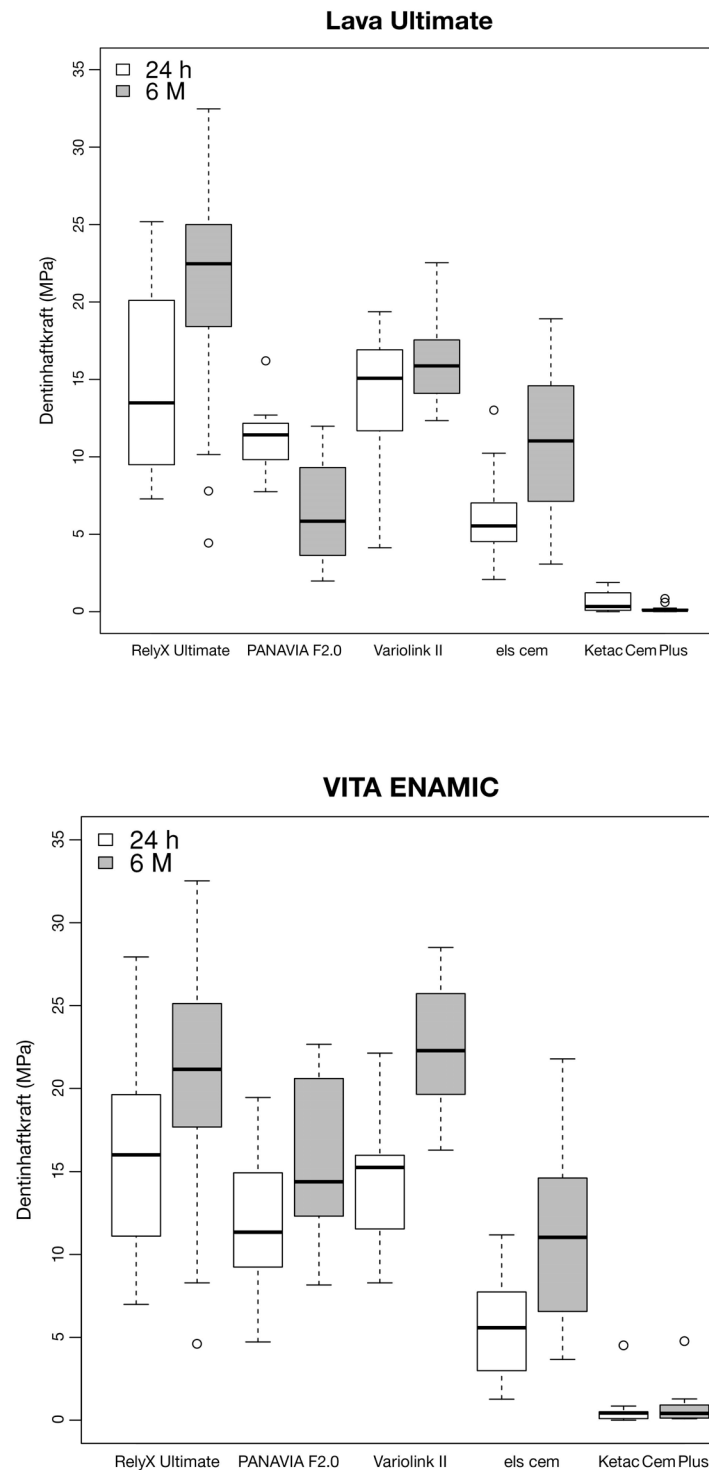


Abb. 5: Boxplots (Mediane, Minima/Maxima, 1./3. Quartile) der Dentinhaftkraftwerte nach 24 h bzw. nach sechsmonatiger Lagerung (6 M) für Lava Ultimate und VITA ENAMIC

Die globale Analyse der Dentinhaftkraftwerte zeigte, dass alle drei Faktoren „Zement“, „CAD/CAM-Hybridkeramik“ und „Lagerung“ ($p < 0,0001$) sowie alle Interaktionen ($p \leq 0,001$) signifikant waren.

Hinsichtlich Zement und innerhalb von Lava Ultimate nach 24 h erzielten RelyX Ultimate und Variolink II gleich hohe Dentinhaftkraftwerte ($p = 1,00$). Ebenfalls nicht statistisch signifikant verschieden waren die Dentinhaftkraftwerte von RelyX Ultimate und PANA VIA F2.0. Variolink II zeigte aber nach 24 h signifikant höhere Dentinhaftkraftwerte als PANA VIA F2.0 ($p = 0,015$). Die tiefste Dentinhaftkraft unter den Kompositzementen wurde für els cem gemessen (Vergleich innerhalb der Kompositzemente, alle $p < 0,0001$) gefolgt von den Dentinhaftkraftwerten von Ketac Cem Plus ($p < 0,0001$). Nach sechsmonatiger Lagerung zeigte nun RelyX Ultimate alleine die höchsten Dentinhaftkraftwerte ($p \leq 0,016$). Für Variolink II wurden statistisch signifikant höhere Dentinhaftkraftwerte als für PANA VIA F2.0 ($p < 0,0001$) und für els cem ($p = 0,002$) gemessen. Der Kompositzement els cem wiederum zeigte signifikant höhere Dentinhaftkraftwerte als PANA VIA F2.0 ($p = 0,015$). Alle adhäsiven Zemente zeigten nach sechsmonatiger Lagerung höhere Dentinhaftkraftwerte als der konventionelle Zement Ketac Cem Plus ($p < 0,0001$). Innerhalb von VITA ENAMIC und nach 24 h erzielten RelyX Ultimate und Variolink II gleich hohe Dentinhaftkraftwerte ($p = 0,389$). Ebenfalls nicht statistisch signifikant verschieden waren die Dentinhaftkraftwerte von Variolink II und PANA VIA F2.0. Die Dentinhaftkraftwerte von PANA VIA F2.0 waren nach 24 h signifikant tiefer als diejenigen von RelyX Ultimate ($p = 0,037$) und signifikant höher als diejenigen von els cem ($p < 0,0001$). Die Dentinhaftkraftwerte all dieser Zemente waren signifikant höher als diejenigen von Ketac Cem Plus ($p < 0,0001$). Nach sechsmonatiger Lagerung zeigten RelyX Ultimate und Variolink II immer noch statistisch signifikant die höchsten Dentinhaftkraftwerte im Vergleich zu den anderen Zementen ($p \leq 0,041$) und die Dentinhaftkraftwerte der beiden Zemente unterschieden sich auch nach sechsmonatiger Lagerung nicht statistisch signifikant voneinander. PANA VIA F2.0 zeigte statistisch signifikant höhere Dentinhaftkraftwerte als els cem ($p = 0,041$). Alle adhäsiven Zemente zeigten nach sechsmonatiger Lagerung höhere Dentinhaftkraftwerte als der konventionelle Zement Ketac Cem Plus ($p < 0,0001$).

Hinsichtlich CAD/CAM-Hybridkeramik, nach 24 h und innerhalb desselben Zementes unterschieden sich die Dentinhaftkraftwerte zwischen Lava Ultimate und VITA ENAMIC nicht signifikant. Nach sechsmonatiger Lagerung unterschieden sich die Dentinhaftkraftwerte zwischen der Hybridkeramik Lava Ultimate und VITA ENAMIC ebenfalls nicht signifikant für RelyX Ultimate und els cem im Gegensatz zu den Dentinhaftkraftwerten von PANA VIA F2.0, Variolink II und Ketac Cem Plus, welche alle drei signifikant tiefere Dentinhaftkraftwerte für Lava Ultimate zeigten als für VITA ENAMIC ($p \leq 0,010$).

Hinsichtlich Lagerung haben die exakten Wilcoxon Rangsummen-Tests ergeben, dass für vier der fünf Zemente die Dentinhaftkraftwerte nach sechsmonatiger Lagerung bei Lava Ultimate signifikant verschieden waren im Vergleich zu denjenigen nach 24 h. Sowohl RelyX Ultimate ($p=0,041$) als auch els cem ($p=0,005$) zeigten signifikant höhere Dentinhaftkraftwerte nach sechsmonatiger Lagerung im Vergleich zu denjenigen nach 24 h. Signifikant tiefere Dentinhaftkraftwerte nach sechsmonatiger Lagerung konnten bei PANA VIA F2.0 ($p=0,001$) und Ketac Cem Plus ($p=0,027$) gemessen werden. Einzig bei Variolink II konnte keine signifikante Veränderung der Dentinhaftkraftwerte nach sechsmonatiger Lagerung festgestellt werden. Bei VITA ENAMIC veränderten sich die Dentinhaftkraftwerte nach sechsmonatiger Lagerung bei drei der fünf Zemente nicht signifikant. Sowohl bei RelyX Ultimate als auch bei PANA VIA F2.0 und Ketac Cem Plus blieben die Dentinhaftkraftwerte nach sechsmonatiger Lagerung gleich. Im Gegensatz dazu wurde bei Variolink II ($p<0,0001$) und els cem ($p=0,003$) eine signifikante Zunahme der Dentinhaftkraftwerte nach sechsmonatiger Lagerung festgestellt.

Die Verteilung der Bruchmuster nach dem Scherkrafttest ist auf der nächsten Seite in Tab. 4 aufgelistet. Für Lava Ultimate war der häufigste Bruch nach 24 h adhäsiv zwischen Dentin und Zement für die Kompositzemente wogegen für den kunststoffmodifizierten Glasionomerzement der häufigste Bruch adhäsiv zwischen Zement und Hybridkeramik war. Nach sechsmonatiger Lagerung war die Anzahl gemischter Brüche höher als nach 24 h. Für VITA ENAMIC war der häufigste Bruch im Allgemeinen sowohl nach 24 h als auch nach sechsmonatiger Lagerung adhäsiv zwischen Dentin und Zement (Tab. 4).

Tab. 4: Verteilung der Bruchmuster nach 24 h und nach sechsmonatiger Lagerung (6 M)

Lava Ultimate	Zeitpunkt (je n=15)	1) kohäsiv im Dentin (%)	2) adhäsiv zw. Dentin - Zement (%)	3) adhäsiv zw. Zement - Hybridkeramik (%)	4) kohäsiv im Zement (%)	5) gemischter Bruch (%)
RelyX Ultimate	24 h	33	47	0	0	20
	6 M	47	13	0	0	40
PANAVIA F2.0	24 h	0	93	0	0	7
	6 M	0	53	27	0	20
Variolink II	24 h	0	100	0	0	0
	6 M	0	87	0	0	13
els cem	24 h	0	100	0	0	0
	6 M	0	93	0	0	7
Ketac Cem Plus	24 h	0	13	87	0	0
	6 M	0	20	53	0	27
VITA ENAMIC	Zeitpunkt (je n=15)	1) kohäsiv im Dentin (%)	2) adhäsiv zw. Dentin - Zement (%)	3) adhäsiv zw. Zement - Hybridkeramik (%)	4) kohäsiv im Zement (%)	5) gemischter Bruch (%)
RelyX Ultimate	24 h	27	46	0	0	27
	6 M	7	40	0	0	53
PANAVIA F2.0	24 h	0	100	0	0	0
	6 M	0	87	0	0	13
Variolink II	24 h	0	100	0	0	0
	6 M	0	87	0	6,5	6,5
els cem	24 h	0	100	0	0	0
	6 M	0	87	0	0	13
Ketac Cem Plus	24 h	0	93	7	0	0
	6 M	0	80	0	0	20

5. DISKUSSION

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass es bezüglich Dentinhaftkraft sowohl zwischen den fünf Zementen, den beiden CAD/CAM-Hybridkeramiken, als auch vor und nach Lagerung deutliche Unterschiede gegeben hat, womit die Nullhypothese verworfen werden muss.

Hinsichtlich der verschiedenen Zemente zeigten generell die beiden „self-etch“ Kompositzemente RelyX Ultimate und PANA VIA F2.0 sowie der „etch-and-rinse“ Kompositzement Variolink II die höchste Dentinhaftkraft, gefolgt von dem „etch-and-rinse“ Kompositzement els cem und dem, eine deutlich schlechtere Dentinhaftkraft zeigenden, konventionellen Glasionomierzement Ketac Cem Plus. Innerhalb der Kompositzemente konnte allgemein gesagt kein prinzipieller Unterschied in den Dentinhaftkraftwerten von „self-etch“ Kompositzementen im Vergleich zu „etch-and-rinse“ Kompositzementen gezeigt werden, was in Übereinstimmung mit anderen Studien ist [9,11-13]. Allerdings war in einer Studie die Haftkraft eines „etch-and-rinse“ Kompositzementes besser als diejenige der untersuchten „self-etch“ Kompositzemente [14]. Sicherlich spielt nicht nur die Kategorie „self-etch“ versus „etch-and-rinse“ Kompositzemente eine Rolle, sondern auch konkret das Produkt inklusive seinen spezifischen Behandlungsschritten. Bei der Hybridkeramik Lava Ultimate erreichte der vom Hersteller empfohlene RelyX Ultimate zwar die gleich hohen Dentinhaftkraftwerte nach 24 Stunden Lagerung wie Variolink II, jedoch waren die Dentinhaftkraftwerte von Variolink II nach sechsmonatiger Lagerung signifikant tiefer, nicht zuletzt weil die Dentinhaftkraft von RelyX Ultimate zunahm. Eine Zunahme der Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung erreichte auch els cem, welcher nach 24 Stunden noch eine tiefere Dentinhaftkraft als PANA VIA F2.0 aufwies jedoch nach sechsmonatiger Lagerung an Dentinhaftkraft zunahm und danach höhere Dentinhaftkraftwerte als PANA VIA F2.0 aufwies, welcher an Dentinhaftkraft abnahm. Obwohl gemäss Angaben des Herstellers von Lava Ultimate nichts gegen die Verwendung von PANA VIA F2.0 spricht, muss folglich trotzdem eher davon abgeraten werden. Bei der Hybridkeramik VITA ENAMIC zeigte RelyX Ultimate zusammen mit Variolink II die höchsten Dentinhaftkraftwerte. Interessanterweise waren die Dentinhaftkraftwerte nach 24 Stunden von RelyX Ultimate und nach sechsmonatiger Lagerung diejenigen von RelyX Ultimate und Variolink II signifikant höher als diejenigen von PANA VIA F2.0, welcher vom Hersteller für die Zementierung von VITA ENAMIC empfohlen wird. Davon ausgehend, dass sich VITA ENAMIC tatsächlich eher wie eine Silikatkeramik verhält (gemäss Zusammensetzung von VITA ENAMIC am ehesten wie eine Feldspatkeramik), sind die signifikant höheren Dentinhaftkraftwerte von RelyX Ultimate der vorliegenden Studie in Übereinstimmung mit einer vorangehenden Studie, in welcher die Dentinhaftkraft der

CAD/CAM-Feldspatkeramik VITABLOCS Mark II in Kombination mit RelyX Ultimate ebenfalls signifikant höher war als diejenige mit PANAVIA F2.0 [15]. Die signifikant höheren Werte von Variolink II gegenüber denen von PANAVIA F2.0 werden eher kontrovers diskutiert und stehen somit einerseits im Widerspruch [11] andererseits in Übereinstimmung mit anderen Studien [16]. Eine weitere Studie untersuchte die Haftkraft auf tiefen Dentinschichten und oberflächlichen Dentinschichten. In dieser Studie wurde gezeigt, dass Variolink II auf tiefen Dentinschichten viel höhere Dentinhaftkraftwerte als PANAVIA F2.0 aufwies. Im Gegensatz dazu war der Unterschied zwischen den beiden Zementen bezüglich Dentinhaftkraft bei oberflächlichen Dentinschichten geringer [17]. Es wäre denkbar, dass die höhere Dichte an Dentintubuli in tiefen Dentinschichten zu mehr „Verankerungselementen“ in Form von mehr Verzapfungen des Adhäsivsystems in den Dentintubuli bei der Bildung der Hybridschicht führt. Warum diese Ergebnisse vor allem für Variolink II so ausgeprägt waren, nicht aber für die anderen Zemente, zeigt die Unterschiede in der Art des Aufbaus eines adhäsiven Haftverbundes verschiedener Kompositzemente. Zudem unterscheiden sich Dentinhaftkraftwerte (selbst bei gleichen Adhäsivsystemen und/oder Kompositmaterialien) stark je nach Studienaufbau [18], was erklären kann, warum Studien zu keiner einstimmigen Meinung bezüglich Dentinhaftkraft von PANAVIA F2.0 und Variolink II gekommen sind. Die tiefsten Dentinhaftkraftwerte für VITA ENAMIC unter den Kompositzementen wies els cem auf. Die eher tiefen Dentinhaftkraftwerte von els cem sowohl bei Lava Ultimate als auch bei VITA ENAMIC machen dessen Gebrauch etwas fraglich. Jedoch konnte bei els cem mit beiden Hybridkeramiken eine Zunahme der Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung gezeigt werden und es ist nicht auszuschliessen, dass diese später noch zunehmen könnte, was mit weiteren Studien bestätigt werden müsste. Eine in Betracht zu ziehende Indikation von els cem ist dessen Verwendung bei Allergikern auf TEGDMA und HEMA. Beim Bonding System cmf prime welches zusammen mit els cem gebraucht wird, gehen - im Gegensatz z. B. zum Adhäsivsystem Syntac Classic von Variolink II - weder TEGDMA noch HEMA in Lösung [19]. TEGDMA und HEMA sind zwei potentiell allergisierende Methacrylate, welche in Adhäsivsystemen enthalten sind. Gemäss einem Review von Hume & Gerzina gibt es allerdings keine Daten in der Literatur, welche eine systemische Toxizität von TEGDMA und/oder HEMA (via Speichel in den Organismus gelangend) beschreiben. Jedoch existieren diverse Berichte über Kontaktdermatitiden bei zahnärztlichem Personal in Zusammenhang mit TEGDMA und/oder HEMA [20]. Der einzige konventionelle Zement der Studie, der kunststoffmodifizierte Glasionomierzement Ketac Cem Plus, zeigte die tiefsten Dentinhaftkraftwerte unabhängig der Hybridkeramik sowohl nach 24 Stunden als auch nach sechs Monaten Lagerung. Die signifikant tieferen Dentinhaftkraftwerte von Ketac Cem Plus im Vergleich zu den Kompositzementen in der vorliegenden Studie

stimmen mit den Ergebnissen vorangehender Studien überein, in welchen Glasionomerezemente niedrigere Haftkraftwerte als Kompositzemente zeigten [11,21-23]. An dieser Stelle sollte wiederum vermerkt werden, dass die konventionelle Zementierung eigentlich für beide Hybridkeramiken nicht indiziert ist und in der Studie als Negativkontrollgruppe miteingeschlossen wurde.

Im Vergleich zwischen den Hybridkeramiken Lava Ultimate und VITA ENAMIC sowie innerhalb eines Zementes konnte nach 24 Stunden kein Unterschied der Dentinhaftkraft gemessen werden. Der Kompositzement elselcem zeigte auch nach sechsmonatiger Lagerung immer noch keinen Unterschied der Dentinhaftkraft zwischen Lava Ultimate und VITA ENAMIC. Da elselcem ein relativ neuer und gleichzeitig ein eher unbekannter Kompositzement auf dem Markt ist, fehlen bislang andere Studien zum Vergleich. Nach sechsmonatiger Lagerung waren jedoch die Dentinhaftkraftwerte von PANAVIA F2.0, Variolink II und Ketac Cem Plus jeweils signifikant tiefer für Lava Ultimate als für VITA ENAMIC. Es scheint, dass der CLEARFIL Ceramic Primer bei PANAVIA F2.0 beziehungsweise das Monobond Plus bei Variolink II und der konventionelle Glasionomerezement Ketac Cem Plus eher auf keramik- als auf kompositähnliche Materialien ausgelegt sind. In einer anderen Studie erwies sich Lava Ultimate als weniger inert und als eher kompositähnlich [24]. Die genannten Zemente könnten somit bei Lava Ultimate schneller an einer Degradation des Haftverbundes leiden. Inwiefern das Sandstrahlen, welches bei Lava Ultimate als Vorbehandlung durchgeführt wurde einen Einfluss auf die Veränderung der Haftkraft über die Zeit der verschiedenen Zemente hatte und ob sich eine erhöhte Degradation nach noch längerer Lagerung auch bei VITA ENAMIC manifestiert hätte, müsste in weiteren Studien abgeklärt werden. Weshalb für RelyX Ultimate in Kombination mit Lava Ultimate nach sechsmonatiger Lagerung diese Degradation nicht stattfand und somit nach 6 Monaten gleich hohe Dentinhaftkraftwerte für Lava Ultimate gemessen werden konnten, kann damit erklärt werden, dass das zum RelyX Ultimate gehörende Scotchbond Universal mit dem kompositähnlichen Lava Ultimate einerseits einen Verbund via im Scotchbond Universal integriertem Silan und der Silan-Verbundphase von Lava Ultimate herstellt. Andererseits kann Scotchbond Universal auf zwei andere Arten eine Verbindung zu Komposit oder kompositähnlichen Materialien herstellen: Einerseits via Methacrylate aus dem Scotchbond Universal zur organischen Matrix (sprich ebenfalls zu den Methacrylaten) im Lava Ultimate und schliesslich via dem säuremodifizierten Monomer 10-Methacryloyloxydecylidihydrogenphosphat (10-MDP) im Scotchbond Universal zu den Zirkoniumoxidpartikeln als Füllkörper in Lava Ultimate. Zusammenfassend kann man sagen, dass vor allem auf dem kompositähnlichen Material Lava Ultimate eine stärker ausgeprägte Degradation der Dentinhaftkraft durch die sechsmonatiger Lagerung vorzukommen scheint. Wie die höheren Dentinhaftkraftwerte

von drei Zementen zusammen mit VITA ENAMIC zeigten, scheint (zumindest bis nach sechsmonatiger Lagerung) die Kombination mit einer Keramik - beziehungsweise einem eher keramikähnlichen Material wie VITA ENAMIC - besser zu funktionieren.

Beide „self-etch“ Kompositzemente, RelyX Ultimate und PANAVIA F2.0, zeigten je nach Hybridkeramik unterschiedliche Veränderungen der Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung. Bei RelyX Ultimate in Kombination mit Lava Ultimate nahm die Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung signifikant zu, im Gegensatz dazu blieben die Dentinhaftkraftwerte in Kombination mit VITA ENAMIC gleich. Diese Zunahme der Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung mit Lava Ultimate steht etwas im Widerspruch zu vorangehenden Studien, in welchen „self-etch“ Adhäsivsysteme in Kombination mit Kompositmaterialien oder Kompositzementen eher eine Abnahme der Dentinhaftkraft über die Zeit gezeigt haben [16,25]. Mögliche Ursachen einer Zunahme der Dentinhaftkraft von RelyX Ultimate in Kombination mit Lava Ultimate könnten etwa ein Nachhärten des Zementes während der Lagerung oder aber eine nach 24 Stunden fortwährende und die Dentinhaftkraft positiv beeinflussende Modifikation des „smear layers“ sein. Die Dentinhaftkraftwerte für RelyX Ultimate waren für beide Hybridkeramiken hoch, was durch die Verteilung der Bruchmuster unterstrichen wurde: Bei Lava Ultimate und VITA ENAMIC in Kombination mit RelyX Ultimate wurden sowohl nach 24 Stunden als auch nach sechs Monaten eine gewisse Anzahl kohäsiver Brüche im Dentin (Lava Ultimate: in 33% nach 24 Stunden und in 47% nach sechs Monaten; VITA ENAMIC: in 27% nach 24 Stunden und in 7% nach sechs Monaten) als auch keine adhäsiven Brüche zwischen dem Kompositzement und der Hybridkeramik verzeichnet. Dies zeigt einerseits, dass der Haftverbund zwischen dem Kompositzement und dem Dentin stärker ist als das Dentin selbst und andererseits, dass der Haftverbund zwischen Hybridkeramik und Kompositzement sehr gut ist. Beim zweiten „self-etch“ Kompositzement, PANAVIA F2.0, in Kombination mit Lava Ultimate nahm die Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung signifikant ab, im Gegensatz dazu blieb die Dentinhaftkraft in Kombination mit VITA ENAMIC gleich. Die Abnahme der Dentinhaftkraft nach Lagerung bei einem Kompositzementen mit „self-etch“ Adhäsivsystem, wurde, wie oben erwähnt, bereits in vorangehenden Studien gezeigt [16,25]. Auch hat eine parallel dazu geführte, zweite Studie mit Lava Ultimate und VITA ENAMIC ergeben, dass sich Lava Ultimate eher wie ein Kompositmaterial verhält, wogegen sich VITA ENAMIC eher wie eine Silikatkeramik verhält [24]. Es wäre denkbar, dass der auf Keramik ausgerichtete CLEARFIL Ceramic Primer zwar auf VITA ENAMIC sowohl nach 24 Stunden als auch nach sechsmonatiger Lagerung einen konstanten Haftverbund sicherstellte, auf dem eher kompositähnlichen Lava Ultimate allerdings mit der Zeit, etwa durch hydrolytische Degradation, zu einem fortlaufend abnehmenden Haftverbund führte. Diese Erklärungen werden bis zu einem

gewissen Grad auch durch die Verteilung der Bruchmuster gestützt: Für Lava Ultimate in Kombination mit PANA VIA F2.0 stieg die Anzahl adhäsiver Brüche zwischen dem Kompositzement und der Hybridkeramik Lava Ultimate von 0% nach 24 Stunden auf 27% nach sechs Monaten an, wohingegen die Anzahl für VITA ENAMIC auch nach sechs Monaten bei 0% blieb. Es muss allerdings nochmals festgehalten werden, dass der Hersteller 3M ESPE nicht PANA VIA F2.0 sondern sein eigenes Produkt RelyX Ultimate empfiehlt. Trotzdem spricht gemäss Herstellerangaben nichts gegen die Verwendung von PANA VIA F2.0.

Beide „etch-and-rinse“ Kompositzemente, Variolink II und els cem, zeigten - mit Ausnahme von Variolink II in Kombination mit Lava Ultimate - eine Zunahme der Dentinhaftkraft nach sechsmonatiger Lagerung. Die Dentinhaftkraft für Variolink II blieb einerseits in Kombination mit Lava Ultimate gleich und nahm andererseits in Kombination mit VITA ENAMIC zu. Dies kann auf eine mögliche, die Dentinhaftkraft positiv beeinflussende Interaktion des zum Syntac Classic/Variolink II-System gehörenden Silan-Haftvermittlers Monobond Plus und der mit der dualen Netzstruktur ausgestatteten Hybridkeramik VITA ENAMIC hindeuten. Die Dentinhaftkraft des anderen „etch-and-rinse“ Kompositzementes els cem nahm unabhängig der Hybridkeramik nach sechsmonatiger Lagerung zu. Diese Zunahme der Dentinhaftkraft von els cem könnte erneut mit einem Nachhärten des Kompositzementes erklärt werden. Die Verteilung der Bruchmuster bei beiden „etch-and-rinse“ Kompositzementen zeigte, dass die Anzahl adhäsiver Brüche zwischen Dentin und Zement nach sechsmonatiger Lagerung leicht abnahm, was auf eine positive Interaktion der Adhäsivsysteme und deren Zemente auf die Haftkraft schliessen lässt.

Nach sechsmonatiger Lagerung nahm die Dentinhaftkraft des kunststoffmodifizierten Glasionomerzementes Ketac Cem Plus in Kombination mit Lava Ultimate signifikant ab, wohingegen diejenige mit VITA ENAMIC gleich tief blieb. Die signifikante Abnahme der Dentinhaftkraft bei Ketac Cem Plus in Kombination mit Lava Ultimate ist in Übereinstimmung mit einer anderen Studie, in welcher ebenfalls eine Abnahme der Dentinhaftkraft bei Glasionomerzementen auf einer sandgestrahlten Oberfläche gezeigt wurde [21], allerdings wurde im Gegensatz zur jetzigen Studie während der Lagerungszeit zusätzlich künstliche Alterung mittels Thermowechselbad („Thermocycling“) angewandt.

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Bei der Hybridkeramik Lava Ultimate erreichte der vom Hersteller empfohlene Kompositzement RelyX Ultimate nach sechsmonatiger Lagerung die höchste Dentinhaftkraft. Der nicht indizierte und experimentell verwendete kunststoff-modifizierte Glasionomierzement Ketac Cem Plus hat die tiefste Dentinhaftkraft gezeigt.
- Bei der Hybridkeramik VITA ENAMIC erreichten die beiden Kompositzemente RelyX Ultimate und Variolink II nach sechsmonatiger Lagerung die höchste Dentinhaftkraft. Der vom Hersteller empfohlene PANA VIA F2.0 zeigte unabhängig der Lagerung zwar eine konstante Dentinhaftkraft, welche jedoch generell tiefer war als diejenige von RelyX Ultimate und ebenfalls tiefer war als diejenige von Variolink II nach sechs Monaten. Der nicht indizierte und experimentell verwendete Ketac Cem Plus hat wiederum die tiefste Dentinhaftkraft gezeigt.

7. VERDANKUNG

Bedanken möchte ich mich bei den Firmen 3M ESPE, VITA Zahnfabrik, Kuraray, Ivoclar Vivadent und Saremco Dental AG für die kostenlose Zurverfügungstellung der Materialien, Urs Rohrer (Institute for Surgical Technology & Biomechanics, Universität Bern) für die Herstellung der Hybridkeramikzylinder und Gabriel Fischer (Institut für mathematische Statistik und Versicherungslehre, Universität Bern) für die statistische Analyse.

Bedanken möchte ich mich auch beim Team des Forschungslabors der Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin, insbesondere bei Frau Barbara Beyeler, für die Hilfe und Zusammenarbeit. Ein weiteres Dankeschön geht an meine Mitstudentin med. dent. Elisabeth Diebold für ihre Unterstützung. Und schlussendlich gilt ein herzliches Dankeschön Prof. Dr. Adrian Lussi und Dr. odont. Anne Peutzfeldt für das Korrekturlesen sowie meinem Betreuer Dr. med. dent. Simon Flury für sein grosses Engagement und die tatkräftige zeitliche und fachliche Unterstützung.

8. INFORMATION UND INTERESSENDEKLARATION

Diese Dissertation basiert auf der Weiterführung meiner Masterarbeit, welche am 01.11.2014 zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Dental Medicine“ (M Dent Med) an den zahnmedizinischen Kliniken der Universität Bern vorgelegt wurde [26]. Die Autorin verfolgt mit dieser Arbeit keine finanziellen und/oder ideellen Interessen einer Firma und die Studie wurde nicht im Auftrag einer solchen erstellt.

9. LITERATURVERZEICHNIS

1. Wissenschaftliche Stellungnahme DGZMK: „Sind vollkeramische Kronen und Brücken wissenschaftlich anerkannt?“, 2013 - (<http://www.dgzmk.de/zahnaerzte/wissenschaft-forschung/leitlinien/details/document/sind-vollkeramische-kronen-und-bruecken-wissenschaftlich-anerkannt.html>).
2. Wissenschaftliche Stellungnahme DGZMK: „Vollkeramische Restaurationen“, 2007 - (<http://www.dgzmk.de/zahnaerzte/wissenschaft-forschung/mitteilungen/details/document/vollkeramische-restaurationen.html>).
3. Produkteinformation 3M ESPE zu Lava Ultimate, 2012.
4. Technisch-wissenschaftliche Dokumentation VITA Zahnfabrik zu VITA ENAMIC, 2014.
5. Uludag B, Ozturk O, Ozturk AN. Microleakage of ceramic inlays luted with different resin cements and dentin adhesives. J Prosthet Dent. 2009;102(4):235-41.
6. Oilo G, Jørgensen KD. The influence of surface roughness on the retentive ability of two dental luting cements. J Oral Rehabil. 1978;5(4):377-89.
7. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics, 4. Aufl. St Louis, Missouri, Mosby ELSEVIER, 2006: Seiten 226 ff & 910.
8. Radovic I, Mazzitelli C, Chieffi N, Ferrari M. Evaluation of the adhesion of fiber posts cemented using different adhesive approaches. Eur J Oral Sci. 2008;116(6):557-63.
9. Sarr M, Mine A, De Munck J, Cardoso MV, Kane AW, Vreven J, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL. Immediate bonding effectiveness of contemporary composite cements to dentin. Clin Oral Investig. 2010;14(5):569-77.
10. Higgins JJ. Introduction to modern nonparametric statistics. Pacific Grove, California, Duxbury Press, 2004.
11. Peutzfeldt A, Sahafi A, Flury S. Bonding of restorative materials to dentin with various luting agents. Oper Dent. 2011;36(3):266-73.
12. Shafiei F, Fekrazad R, Kiomarsi N, Shafiei E. Bond strength of two resin cements to dentin after disinfection pretreatment: effects of Er,Cr:YSGG laser compared with chemical antibacterial agent. Photomed Laser Surg. 2013;31(5):206-11.
13. Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, Lambrechts P, Peumans M. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. Dent Mater. 2007;23(1):71-80.
14. Soderholm KJ, Soares F, Argumosa M, Loveland C, Bimstein E, Guelmann M. Shear bond strength of one etch-and-rinse and five self-etching dental adhesives when used by six operators. Acta Odontol Scand. 2008;66(4):243-9.
15. Lührs A, De Munck J, Geurtsen W, Van Meerbeek B. Composite cements benefit from light-curing. Dent Mater. 2014;30(3):292-301.

16. Shafiei F, Memarpour M. Effect of chlorhexidine application on long-term shear bond strength of resin cements to dentin. *J Prosthodont Res.* 2010;54(4):153-8.
17. Özcan M, Mese A. Adhesion of conventional and simplified resin-based luting cements to superficial and deep dentin. *Clin Oral Investig.* 2012;16(4):1081-8.
18. Scherrer SS, Cesar PF, Swain MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review. *Dent Mater;* 2010;26(2):e78-e93.
19. Reichl FX, Löhle J, Seiss M, Furche S, Shehata MM, Hickel R, Müller M, Dränert M, Durner J. Elution of TEGDMA and HEMA from polymerized resin-based bonding systems. *Dent Mater.* 2012;28(11):1120-5.
20. Hume WR, Gerzina TM. Bioavailability of components of resin-based materials which are applied to teeth. *Crit Rev Oral Biol Med.* 1996;7(2):172-9.
21. Piwowarczyk A, Lauer H, Sorensen J. In vitro shear bond strength of cementing agents to fixed prosthodontic restorative materials. *J Prosthet Dent.* 2004;92(3):265-73.
22. Cvikl B, Filipowitsch R, Wernisch J, Raabe M, Gruber R, Moritz A. Immediate shear bond strengths of a composite, a compomer and a glass ionomer to a ceramic substrate. *J Adhes Dent.* 2013;15(4):385-91.
23. Manso AG, González-Lopez S, Bolaños-Carmona V, Maurício PJ, Félix SA, Carvalho PA. Regional bond strength to lateral walls in class I and II ceramic inlays luted with four resin cements and glass-ionomer luting agent. *J Adhes Dent.* 2011;13(5):455-65.
24. Diebold E. Einfluss dreier Politursysteme auf die Oberflächenrauigkeit und mechanischen Eigenschaften von zwei neuen CAD/CAM-Hybridmaterialien. Masterarbeit (M Dent Med) Universität Bern, 2014.
25. Dantas D, Ribeiro A, Lima L, de Lima M, Guênes G, Braz A, Braz R. Influence of water storage time on the bond strength of etch-and-rinse and self-etching adhesive systems. *Braz Dent J.* 2008;19(3):219-23.
26. Schmidt SZ. Haftkraft zweier neuer CAD/CAM-Hybridkeramiken auf Dentin bei adhäsiver oder konventioneller Zementierung. Masterarbeit (M Dent Med) Universität Bern, 2014.